

Circuits from the Lab®参考设计是经过测试的参考设计, 有助于加速设计, 同时简化系统集成, 帮助并解决当今模拟、混合信号和 RF 设计挑战。如需更多信息和/或技术支持, 请访问[www.analog.com/CN-0533](http://www.analog.com/CN-0533)。

### 连接/参考器件

ADXL1002	低噪声、高频率、±50 g MEMS加速度计
AD5749	工业电流输出驱动器、单电源、最高55 V 电源电压、输出范围可编程
LT6654	精密、宽电源电压、高输出驱动、低噪声基准电压源

## 10 kHz MEMS加速度计, 提供4 mA至20 mA输出, 适合状态监控应用

### 评估和设计支持

#### 电路评估板

[CN-0533电路评估板\(EVAL-CN0533-EBZ\)](#)

[铝制安装模块\(EVAL-XLMOUNT1\)](#)

#### 设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

### 电路功能与优势

状态监控(CbM)是一种预测性维护方式, 其利用各种传感器来评估设备随时间的运行状态。收集的传感器数据用于建立基线趋势, 从而帮助诊断甚至预测故障。与传统的定期预防性维护模式相比, 利用CbM可以在需要进行维护, 时间和成本都能得到节省。

振动监测是一种常见类型的CbM测量。振动趋势的变化常常是反映磨损或其他故障模式的指标。为了测量振动数据, 高

带宽(10 kHz或更高)、超低噪声(100 µg/√Hz或更低) MEMS 加速度计是一种经济高效且可靠的选择。

有些应用将加速度计放在靠近支持电路的地方(位于同一电路板上, 或位于板外并通过短电缆连接), 而有些应用则要求加速度计与支持电路隔开一定距离, 这会限制连接选择。MEMS加速度计的输出通常是模拟电压和/或数字式(通常使用串行外设接口(SPI)或I<sup>2</sup>C), 二者都不适合驱动长电缆。虽然可以转换为高速数字接口(如USB)、低压数字信号(LVDS)或以太网, 但额外的功耗、尺寸和成本使这种方案不切实际。

相比之下, 模拟电流环路数据传输(如4 mA至20 mA工业标准)具有良好的抗扰度、耐受电磁干扰(EMI)环境的鲁棒性、高带宽以及长达20米的有线数据传输能力, 同时电路板上只需使用几个器件。此外, 几乎所有传统工业数据采集(DAQ)系统都支持4 mA至20 mA信号标准, 而且该标准很容易适应现代工业4.0智能传感器节点。

#### Rev. 0

Circuits from the Lab® reference designs from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

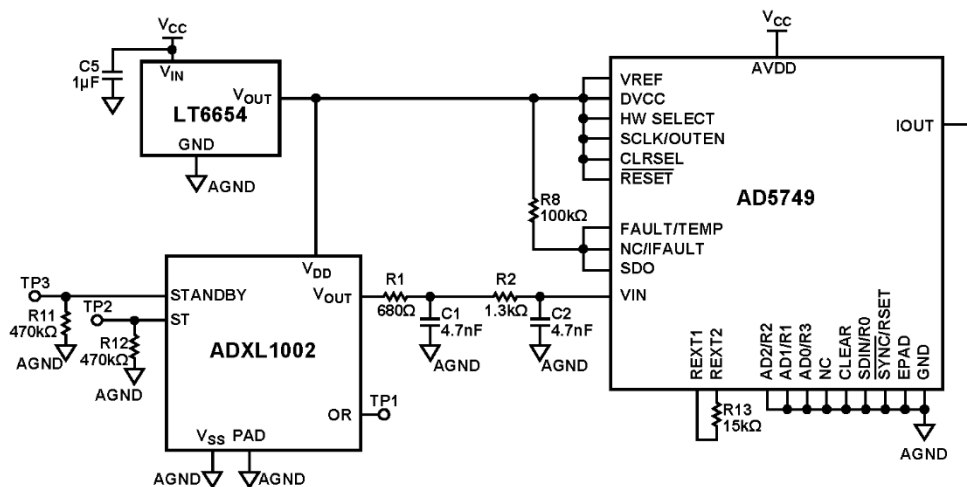


图1. EVAL-CN0533-EBZ简化电路图

## 电路描述

图1所示电路是一个MEMS加速度计振动检测解决方案的简化示意图，其电压输出被转换为4 mA至20 mA的模拟信号。

### 4 mA至20 mA电流环路和接口

自1950年代以来，4 mA至20 mA电流环路一直是工业模拟信号标准。该信号标准的主要优点是信号经长电缆传输时几乎无衰减，因而在工业和工厂等易产生EMI的环境中，其鲁棒性更高。相反，如果使用电压输出，由于电缆有电阻，长电缆（大于10米）会产生压降，导致传感器数据丢失和读数不正确。

图1所示的参考设计由单轴ADXL1002 MEMS加速度计组成，其模拟电压输出由AD5749电压至电流转换器转换为4 mA至20 mA信号标准。AD5749输入( $V_{IN}$ )摆幅为0 V至4.096 V，而ADXL1002模拟输出电压( $V_{OUT}$ )摆幅为0 V至 $V_{DD}$ ，故 $V_{DD}$ 必须设置为4.096 V。因此，选择LT6654AMPS6-4.096来提供4.096 V电压，其在-55°C至125°C的温度范围内的温度稳定性为10 ppm/°C。在 $V_{OUT}$ 和 $V_{IN}$ 之间放置一个-3 dB带宽为36 kHz的2极点RC低通滤波器。此滤波器用于限制宽带噪

声并衰减来自ADXL1002内部时钟的200 kHz噪声分量；根据应用的DAQ电路的采样速率和滤波特性，该噪声可能会在带内混叠。

AD5749将ADXL1002电压输出信号直接转换为4 mA至20 mA的电流输出，对印刷电路板(PCB)尺寸的影响极小，并提供高达50 kHz的带宽和良好的抗扰度。

市场上的许多4 mA至20 mA驱动器由电流输出数模转换器(DAC)组成，需要SPI或I<sup>2</sup>C外部控制器。AD5749 4 mA至20 mA驱动器还有一个优势，那就是独立工作模式（硬件模式）。

在硬件模式下，HW\_SELECT引脚设置为高电平。R0至R3和RSET引脚均接低电平，以将AD5749输出范围设置为4 mA至20 mA，这意味着无需外部微控制器来配置AD5749的输出范围。为了提高输出电流在整个温度范围内的稳定性，应在REXT1和REXT2引脚之间连接一个外部低漂移电阻。

DAQ前端电路（未包括）仅需要一个电流至电压(I-V)转换放大器。互阻抗(I-V电阻)必须根据DAQ前端电路的输入范围设置。

图 2 显示了手动摇动时电路的电流输出(I<sub>OUT</sub>)例子 (黑线)。0g 水平对应 I<sub>OUT</sub> 中间范围, 对于 4 mA 至 20 mA 配置, 其为 12 mA。满量程范围(FSR)也以灰色虚线突出显示供参考。

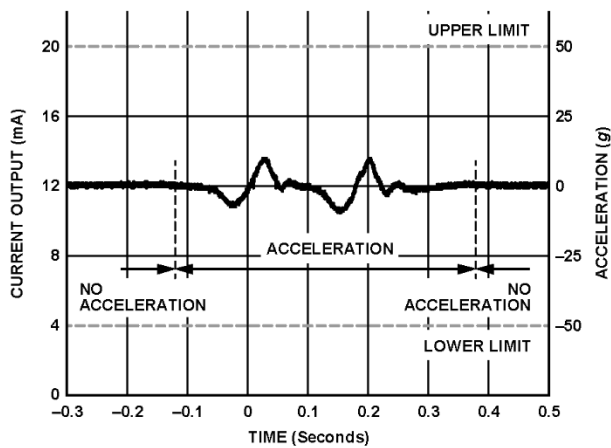


图2. 响应加速度输入的电流输出和加速度

### MEMS 振动传感器优势

ADXL1002 MEMS加速度计具有超低噪声, 噪声谱密度为25  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ , 支持宽带运行, 3 dB带宽为11 kHz, 传感器谐振频率为21 kHz。ADXL1002在温度灵敏度、直流至低频响应、相位响应 (因而群延迟)、耐冲击性和恢复性方面具有卓越的性能, 其噪声水平和带宽可与压电传感器媲美。

该传感器的线性 ( $\pm 0.1\%$  FSR内) 测量范围为 $\pm 50\text{g}$ , 足以支持各种CbM应用。与常规压电传感器相比, 易于焊接的LFCSP封装使得很容易集成ADXL1002和周围电路。

ADXL1002为CbM应用提供一种低成本、高性能、具有出色长期可靠性的传感解决方案。这些独有特性支持CbM解决方案普遍采用MEMS振动传感器, 在向工业4.0迈进的过程中拓宽智能技术的应用范围。

### 常见变化

根据应用要求, CN-0533电路可以支持其他单轴电压输出MEMS加速度计, 例如ADXL1001、ADXL1003、ADXL1004和ADXL1005。低通滤波器的截止频率根据传感器谐振频率加以选择。

将5 V电源用于ADXL1002, 并使用精密分压器将输出调整至4.096 V, 然后输入AD5749, 该电路即可实现加速度计数据手册所述的频谱噪声水平。

### 电路评估与测试

以下几节简要说明如何设置电路和机械安装、读取输出的方法以及期望的结果。

如需完整的详细信息, 请参阅CN0533用户指南。

#### 设备要求

需要以下设备:

- 一个4 mA 至 20 mA 接收器 (如 National Instruments NI-9203)。请注意, 可以用一个精确且温度稳定的电阻和一个电压DAQ系统代替电流DAQ。电阻值必须根据DAQ的输入电压范围确定。
- 电源 (12 V至24 V)
- EVAL-CN0533-EBZ板
- EVAL-XLMOUNT1铝制安装模块
- 振动台或振动源
- 连接器和电缆

#### 开始使用

了解和重新创建测试设置的基本步骤如下:

1. 将三根导线焊接到EVAL-CN0533-EBZ板的VCC、IOUT和GND焊盘。
2. 将EVAL-XLMOUNT1牢固地安装到振动器或振动平台上。
3. 将EVAL-CN0533-EBZ板安装到EVAL-XLMOUNT1并注意灵敏度方向。
4. 将VCC和GND连接至电源, 将IOUT和GND连接至4 mA至20 mA接收器电路。
5. 在DAQ或振动测量设备上将加速度灵敏度设置为128  $\mu\text{A}/\text{g}$  (ADXL1002的灵敏度可能因器件而略有不同; ADXL1002可以利用重力场或其他参考传感器轻松校准)。

#### 电源配置

电路电源电压范围为12 V至55 V, 最大电流消耗典型值为24 mA。

#### 测试

为了验证电路在振动测量应用中的性能, 该电路在ADI公司振动实验室中进行了测试。由于振动DAQ系统输入均为电压输入, 因此使用了一个50  $\Omega$ 温度稳定且高精度的电阻来闭合电流环路, 并通过电阻的压降来间接测量电路输出。该电路通过频率响应、噪声谱密度以及冲击和群延迟来刻画。每个测试的详细信息和结果如下所述。

### 频率响应测量

EVAL-CN0533-EBZ 连接到铝块安装界面 (EVAL-XLMOUNT1), 并安装到振动台上, 如图3所示。振动台产生100 Hz至30 kHz的受控机械振动, 并具有固定的2 g加速度幅度。然后记录电路输出和振动参考 (在这种情况下为激光多普勒振动计)。绘制的频率响应如图4所示, 其与ADXL1002的转换函数一致。



图3. 利用EVAL-XLMOUNT1将EVAL-CN0533-EBZ安装到振动台上

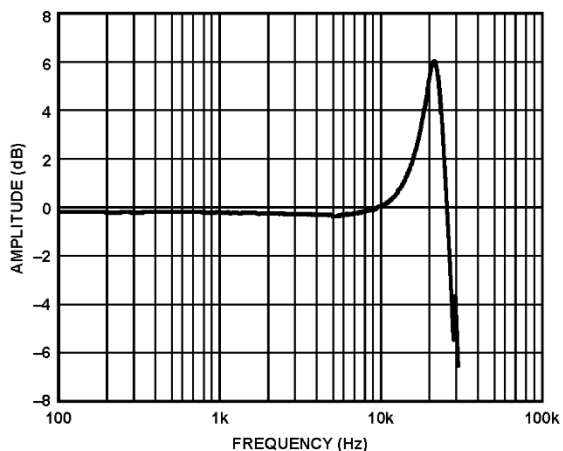


图4. 频率响应

在这个及任何其他高频振动测试中, 机械信号路径的完整性很重要。换句话说, 从信号源到传感器, 振动信号必须没有衰减 (由于阻尼) 或放大 (由于谐振)。在这个例子中, 铝块(EVAL-XLMOUNT1)、四个螺钉安装座和厚PCB保证了目标频率范围内机械响应的平坦性。

### 噪声谱密度

图5显示了传感器在-40°C至+ 105°C的不同温度水平下的噪声密度特性。结果表明, 整个温度范围内的噪声密度变化比ADXL1002传感器IC略大。噪声密度升高的原因是, ADXL1002的电源电压为4.096 V, 而非5V。电源电压的这种降低使频谱噪声密度增加约20%。选择4.096 V电源作为AD5749基准电压(VREF)和ADXL1002输出电压(V<sub>OUT</sub>)的共同来源, 因此不存在两个电压电平不一致而产生的转换误差。

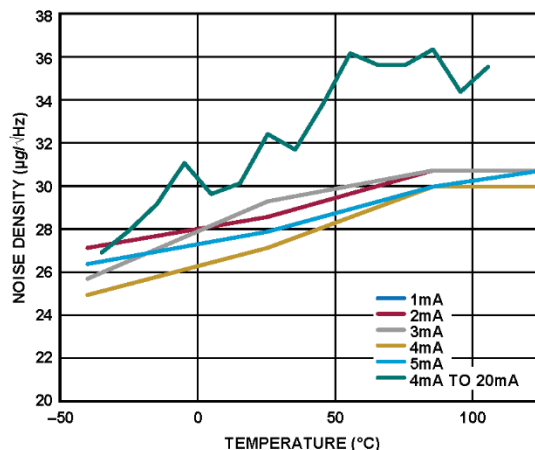


图5. 1 kHz时噪声密度与温度的关系

### 正弦波振动响应

图6显示了由EVAL-CN0533-EBZ采集的数据集示例, 激励信号为10 kHz正弦振动, 幅度为10 g (红色数据)。此测试中显示的参考传感器 (图6中的蓝色数据) 是激光多普勒振动计的加速度测量。EVAL-CN0533-EBZ相对于振动计的延迟约为20µs。

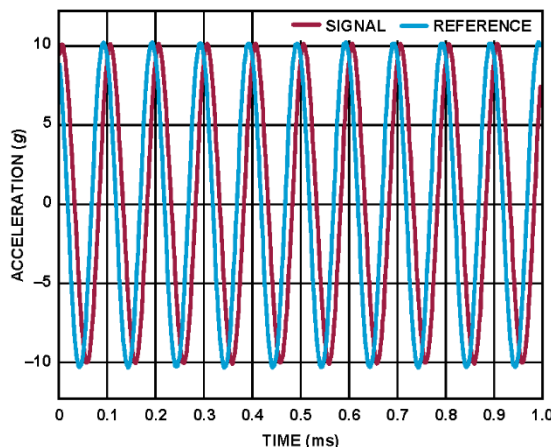


图6. 器件对10 g加速度正弦波激励信号的响应

## 冲击测试

该电路还进行了冲击曲线测试（参见图7）。冲击峰值加速度为10 g，宽度为500 $\mu$ s，形状为方波。请注意，ADXL1002 MEMS传感器可以用欠阻尼二阶系统建模，因此预期会有输出振荡。

在这种情况下，参考传感器为压电传感器（353C23型），具有一个谐振频率，特征群延迟为4 $\mu$ s。请注意，参考传感器输出与ADXL1002的输出之间存在约25 $\mu$ s的相位差。因此，电路的总群延迟约为21 $\mu$ s。

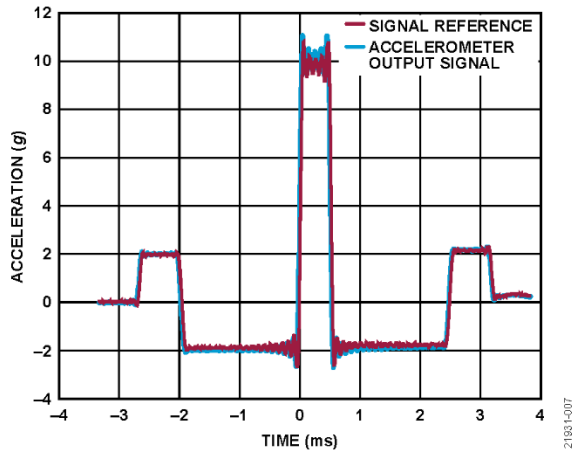


图7. 10 g冲击曲线

## 了解更多

CN0533设计支持包: [www.analog.com/CN0533-DesignSupport](http://www.analog.com/CN0533-DesignSupport)

## 数据手册和评估板

CN-0533电路评估板(EVAL-CN0533-EBZ)

ADXL1002数据手册

ADXL1002评估板

AD5749数据手册

LT6654数据手册

## 修订历史

2020年9月—修订版0：初始版

PC指最初由Philips Semiconductors（现为NXP Semiconductors）开发的一种通信协议。

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab reference designs in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2020 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
CN21931sc-9/20(0)



Rev. 0 | Page 5 of 5

[www.analog.com/cn](http://www.analog.com/cn)

